

บทความวิจัย (Research Article)

การพัฒนาการรู้สละเต็มของนักศึกษาครุวิทยาศาสตร์ผ่านการมีส่วนร่วมชุมชน ผนวกค่ายบูรณาการสะเต็มศึกษาในแหล่งเรียนรู้ท้องถิ่นจังหวัดสุราษฎร์ธานี THE DEVELOPMENT OF SCIENCE STUDENT TEACHERS' STEM LITERACY THROUGH THE COMMUNITY PARTICIPATION COMBINED WITH LOCAL RESOURCE STEM EDUCATION CAMP IN SURAT THANI

Received: May 19, 2018

Revised: July 14, 2018

Accepted: July 16, 2018

อาทิทยา จิตรเอื้อเฟื้อ^{1*}

Artitaya Jituafula^{1*}

¹คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

¹Faculty of Education, Suratthani Rajabat University, Surat Thani 84100, Thailand

*Corresponding Author, E-mail: artitaya_sci@hotmail.com

บทคัดย่อ

การพัฒนาวิชาชีพครูต้องพัฒนาจากรากฐานคือการสร้างศักยภาพในตัวครูให้มีการรู้สละเต็ม (STEM Literacy) เพื่อเป็นพื้นฐานความรู้ในการประยุกต์ใช้สู่การจัดการศึกษาด้านสะเต็ม การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการพัฒนาการรู้สละเต็มและผลการพัฒนาการรู้สละเต็มของนักศึกษาครุวิทยาศาสตร์ผ่านการมีส่วนร่วมชุมชนผนวกค่ายบูรณาการสะเต็มศึกษาในแหล่งเรียนรู้ท้องถิ่นจังหวัดสุราษฎร์ธานี กลุ่มที่ศึกษา ได้แก่ นักศึกษาครุวิทยาศาสตร์ชั้นปีที่ 4 จำนวน 64 คน เลือกแบบเจาะจงจากสถาบันการผลิตครูแห่งหนึ่งในภาคใต้ ดำเนินการวิจัยระหว่างปี 2560 – 2561 โดยเป็นการวิจัยและพัฒนา (R & D) เก็บรวบรวมข้อมูลด้วยการสังเกตการปฏิบัติร่วมกับแบบสังเกตการรู้สละเต็มที่พัฒนาขึ้นจากการดัดแปลงโปรโตคอลการสังเกตชั้นเรียนสะเต็มศึกษา รวมถึงการสัมภาษณ์ การวิเคราะห์เอกสาร วิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์เชิงเนื้อหาพร้อมกับการวิเคราะห์เชิงอุปนัย พบว่า การมุ่งเน้นสถานการณ์ที่สอดคล้องกับบริบทจริง การฝึกปฏิบัติผ่านการออกแบบเชิงวิศวกรรม การลงมือปฏิบัติจริง การทำงานเป็นทีม การใช้เทคโนโลยีเพื่อแก้ปัญหา การสะท้อนคิด รวมถึงการออกแบบแผนการเรียนรู้และฝึกปฏิบัติการสอนสะเต็มสามารถทำให้นักศึกษามีการรู้สละเต็มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ สามารถพัฒนาการรู้สละเต็มมองครวมจากระดับปานกลางไปสู่ระดับมาก นักศึกษาส่วนใหญ่นำความรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีมาใช้ในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อแก้ปัญหาและพัฒนาไปสู่นวัตกรรมได้ดี และสามารถใช้ความรู้พื้นฐานด้านสะเต็มสู่การจัดการศึกษาด้านสะเต็มได้

คำสำคัญ: การรู้สละเต็ม การมีส่วนร่วมชุมชน ค่ายสะเต็ม โครงการงานสะเต็ม

Abstract

Science student teachers' STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) literacy must be improved for their professional development and to enable them to apply this basic knowledge in instructional STEM education. This study investigates ways to promote science student teachers' STEM literacy and identifies the effect of STEM literacy development through community participation combined with a STEM camp in a locality in Surat Thani. The study participants were 64 fourth-year science student teachers who were selected purposively from the first semester of academic year 2017–2018 at a teacher training institute in Southern Thailand. This study is aimed at research and development (R & D) in this area. Multiple data sources including STEM classroom observations, interviews, and document analyses were used. Data were analyzed and categorized using content analysis through an inductive process. The study findings indicated that focusing on real-life contextual situations, engineering design process practices, hands-on activities, team work, use of technology to solve problems, reflection, STEM lesson plan design, and STEM teaching practice can improve science student teachers' STEM literacy. Furthermore, their holistic STEM literacy can be increased from a medium level to a high level. Most science student teachers could well apply self-knowledge in the fields of science, mathematics, and technology to engineering design processes to solve problems and innovate. They could also apply their STEM disciplinary knowledge to instructional STEM education.

Keywords: STEM Literacy, Community Participation, STEM Camp, STEM Project

ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ปัจจุบันประเทศไทยก้าวสู่ยุคไทยแลนด์ 4.0 ที่เน้นการพัฒนานวัตกรรมและนวัตกรรมในการพัฒนาประเทศ กอรกับประเทศไทยกำลังประสบปัญหาเกี่ยวกับการศึกษาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี อาทิ จำนวนผู้เรียนสายวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยีลดลง การศึกษาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ในโรงเรียนมีคุณภาพต่ำ ไม่สามารถตอบสนองการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของชาติ (STEM Education Thailand, 2014) ดังนั้น การจัดการศึกษาต้องก้าวสู่จุดเปลี่ยนเพื่อรับมือการเปลี่ยนแปลงทางสังคมโดยมุ่งเน้นการนำองค์ความรู้สู่การบูรณาการเชิงสร้างสรรค์ในการพัฒนานวัตกรรมเพื่อตอบสนองความต้องการของสังคม อนึ่งการจัดการศึกษาที่กำลังเข้ามามีบทบาทสำคัญคือสะเต็มศึกษา (STEM Education) โดยมีจุดเริ่มต้นจากสหรัฐอเมริกา เกิดจากการนำศาสตร์ทั้งสี่มาบูรณาการเข้าด้วยกัน ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ สะเต็มศึกษาเป็นแนวคิดและองค์ความรู้สำคัญในการสร้างนวัตกรรม และเป็นการสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ด้วยการบูรณาการ มุ่งใช้ความคิดวิเคราะห์ แก้ปัญหาและสร้างสรรค์ เพื่อนำความรู้ทั้งสี่ศาสตร์มาใช้ในชีวิตประจำวันและต่อยอดสู่อาชีพในอนาคต (Israsenaayth, 2017)

จากแนวคิดการจัดการศึกษาที่เปลี่ยนแปลง ทำให้หลักสูตรการผลิตครูในสหรัฐอเมริกาเร่งหาวิธีพัฒนาและเตรียมความพร้อมด้านการสอนและการบูรณาการสาขาวิชาเพิ่มเติมศึกษา (Lederman & Lederman, 2013, pp. 1237-1240) รวมทั้งประเทศไทย ทั้งนี้ ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการจัดการเรียนรู้เพิ่มเติมคือ ครูจะต้องมีความรู้ทั้งสี่ศาสตร์ รวมถึงการปลูกฝังให้ครูมีการรู้เพิ่มเติม (STEM Literacy) ดังนั้นการเตรียมความพร้อมในการผลิตครูให้มีความรู้ความเข้าใจเพิ่มเติมจึงเป็นสิ่งสำคัญ (Siripatharachai, 2013, pp. 49-56) กล่าวคือ ครูต้องเข้าใจในสาขาวิชาเพิ่มเติมเพื่อให้มีความรู้ ทักษะ และทักษะที่สามารถแก้ปัญหาและสถานการณ์ที่เกิดขึ้น สามารถอธิบายธรรมชาติและสรุปปรากฏการณ์ที่เชื่อมโยงกับเพิ่มเติมได้ รวมถึงเข้าใจคุณลักษณะของการศึกษาเพิ่มเติมในการสร้างองค์ความรู้ การสืบค้น และการออกแบบ สามารถเชื่อมโยงการศึกษาเพิ่มเติมด้วยแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์และสะท้อนองค์ความรู้ (Bybee, 2013) ซึ่งเป้าหมายสำคัญของการปฏิรูปสู่การเรียนรู้แบบเพิ่มเติมศึกษาจะเกิดขึ้นได้ต้องผ่านกลไกของการพัฒนาวิชาชีพครู (Chulavatnatol, 2012) ดังนั้น การเตรียมหลักสูตร และเนื้อหาการสอนเพิ่มเติมศึกษา ตลอดจนวิธีสอนที่สอดคล้องกับธรรมชาติของทั้ง 4 วิชา เช่น เน้นการสำรวจและการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์จะช่วยให้ครูมีความมั่นใจมากขึ้น (Siripatharachai, 2013, pp. 49-56) และมีการรู้เพิ่มเติมที่เพียงพอในการนำความรู้และประสบการณ์ไปใช้ได้ในชั้นเรียน

การพัฒนาการรู้เพิ่มเติมสามารถดำเนินการได้หลากหลายวิธี อาทิ การพัฒนาหลักสูตรหรือกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการรู้เพิ่มเติมผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Sangkhak, et al., 2017; Evans, et al., 2016, pp. 107-135; English & King, 2015, pp. 1-18) การจัดประสบการณ์ให้ผู้เรียนได้เผชิญและแก้ปัญหา โดยคำนึงถึงบริบทแวดล้อมที่สัมพันธ์กับชีวิตจริง เช่น การใช้ปัญหาเป็นฐาน โครงการเป็นฐาน และการสืบเสาะหาความรู้ ซึ่งช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดทักษะจนนำไปสู่การสร้างองค์ความรู้จากบริบทจริง โดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ด้วยตนเองเพื่อแก้ปัญหาในสถานการณ์ต่างๆ อย่างซับซ้อนที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน (O'Neill, et al., 2012, pp. 36-40) การบูรณาการเพิ่มเติมศึกษาอาจใช้ภูมิปัญญาท้องถิ่นและการสร้างเครือข่ายความร่วมมือจากชุมชน ทั้งนี้ จังหวัดสุราษฎร์ธานีมีภูมิปัญญาท้องถิ่นและแหล่งเรียนรู้ชุมชนที่น่าสนใจ สามารถนำมาเป็นประเด็นท้าทายความคิดและการเรียนรู้เพื่อแก้ปัญหา พัฒนานวัตกรรมใหม่ สู่อาชีพ โดยเน้นการลงมือปฏิบัติ มองปัญหาที่ต้องจะปรับปรุงและสิ่งที่ต้องการประดิษฐ์โดยเชื่อมโยงความรู้สาขาเพิ่มเติมเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้

ผู้วิจัยในฐานะอาจารย์ผู้สอนและอาจารย์นิเทศก์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏซึ่งเป็นหน่วยงานหลักในการผลิตบัณฑิตครู ได้ตระหนักถึงปัญหาและความจำเป็นในการแก้ปัญหาดังกล่าวอย่างเร่งด่วน เพื่อเป็นผู้นำในการเปลี่ยนแปลงด้านการจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเตรียมผลิตบัณฑิตเพื่อเป็นครูเพิ่มเติมในอนาคต การวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงสนใจการพัฒนาการรู้เพิ่มเติมของนักศึกษาครุวิทยาศาสตร์ผ่านการมีส่วนร่วมชุมชนผนวกค่ายบูรณาการเพิ่มเติมศึกษาในแหล่งเรียนรู้ท้องถิ่น จังหวัดสุราษฎร์ธานีโดยจัดประสบการณ์ให้ผู้เรียนได้รู้เพิ่มเติมศึกษาผ่านการอบรมเชิงปฏิบัติการ (Workshop) การทำโครงการเพิ่มเติมโดยใช้ชุมชนเป็นฐาน (Community based STEM Project) รวมถึงการออกแบบการสอนและฝึกปฏิบัติการสอนแบบเพิ่มเติมศึกษา โดยตั้งอยู่บนพื้นฐานหลักการที่ว่า ค่าเสียเพิ่มเติมประสบความสำเร็จในการสร้างแรงบันดาลใจ เพิ่มความสนใจของผู้เรียนในสาขาเพิ่มเติมและการประกอบอาชีพ อีกทั้งช่วยให้ผู้เรียนมีประสบการณ์ที่เกี่ยวกับกิจกรรมเพิ่มเติมเชิงลึกและได้รับประสบการณ์ตรงที่อาจจะไม่ปรากฏในการอบรมเชิงปฏิบัติการใน

ระยะสั้น การเข้าร่วมในบริบทดังกล่าวทำให้ผู้เรียนเกิดประสบการณ์การเรียนรู้ที่แท้จริงในสาขาสะเต็ม (Nugent, et al., 2010, pp. 391–408) ทั้งนี้ ผู้วิจัยคาดหวังว่าโปรแกรมการพัฒนาวิชาชีพที่พัฒนาขึ้น จะช่วยส่งเสริมการพัฒนาการรู้สะเต็มสำหรับนักศึกษาครุวิทยาการศาสตร์ได้เป็นอย่างดี อันจะยังประโยชน์ให้นักศึกษากลายเป็นผู้รู้สะเต็มและมีความพร้อมสู่ครูผู้สอนแบบสะเต็มศึกษาในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาแนวทางการพัฒนาการรู้สะเต็มและผลการพัฒนาการรู้สะเต็มของนักศึกษาครูผ่านการมีส่วนร่วมชุมชนผนวกค่ายบูรณาการสะเต็มศึกษาในแหล่งเรียนรู้ท้องถิ่น จังหวัดสุราษฎร์ธานี

วิธีดำเนินการวิจัย

1. รูปแบบการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and development: R & D) เพื่อตอบโจทยที่ว่าแนวทางการพัฒนาการรู้สะเต็มควรเป็นอย่างไร รวมถึงนักศึกษาครุวิทยาการศาสตร์มีการรู้สะเต็มอย่างไร โดยเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพ เพื่อให้ได้ผลการวิจัยที่สามารถตอบคำถามของการวิจัยในเชิงลึก

2. กลุ่มที่ศึกษา

กลุ่มที่ศึกษาประกอบด้วย นักศึกษาครุวิทยาการศาสตร์ชั้นปีที่ 4 จำนวน 64 คน จากสถาบันการผลิตครูแห่งหนึ่งในภาคใต้ ได้มาด้วยการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ทั้งหมดมีประสบการณ์ด้านสะเต็มศึกษาตั้งแต่เข้าศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 1 ในลักษณะของการบูรณาการกิจกรรมสะเต็มในรายวิชาต่างๆ เพียงบางคาบ ทั้งนี้ สถาบันการผลิตครูแห่งนี้ยังไม่ได้กำหนดให้มีรายวิชาสะเต็มศึกษาที่แยกออกมาโดยเฉพาะ ผู้วิจัยอ้างถึงกลุ่มที่ศึกษาโดยใช้สัญลักษณ์ M แทนเพศชาย F แทนเพศหญิง ตามด้วยตัวเลข เช่น M1, F2,... ด้วยเหตุผลทางจริยธรรมของการวิจัย

3. ประเด็นที่ศึกษา

การรู้สะเต็ม เป็นความสามารถที่แสดงออกผ่านสถานการณ์หรือกิจกรรมการคิดและปฏิบัติที่สะท้อนให้เห็นถึงการบูรณาการแนวคิดวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์มาใช้เพื่อแก้ปัญหาที่ซับซ้อนผ่านสถานการณ์หรือกิจกรรมการคิดและปฏิบัติเหล่านั้น

4. การออกแบบการวิจัย

ผู้วิจัยมีกระบวนการพัฒนาในวงจร R & D โดยแบ่งตามระยะของการวิจัย ดังนี้
ระยะ R1 ศึกษาความต้องการและความจำเป็นในพัฒนา ระยะนี้เป็นการศึกษาสภาพการรู้สะเต็มของนักศึกษาครูตามประสบการณ์เดิม และมุ่งสะท้อนผล (Reflecting) ผู้วิจัยวัดการรู้สะเต็มของนักศึกษาครูระหว่างปฏิบัติการกิจกรรมสะเต็มตามหลักสูตร โดยใช้แบบสังเกตการรู้สะเต็ม

ระยะ D1 การพัฒนาการรู้สะเต็มของนักศึกษาครู ระยะนี้เป็นการพัฒนารูปแบบ (Model) หรือหลักสูตรสำหรับการพัฒนาการรู้สะเต็มผ่านการมีส่วนร่วมชุมชนผนวกค่ายบูรณาการสะเต็มศึกษาในแหล่งเรียนรู้ท้องถิ่นจังหวัดสุราษฎร์ธานี จุดเริ่มต้นของกระบวนการพัฒนาการรู้สะเต็ม เริ่มจากการอบรมเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียนผ่านการปฏิบัติ

ทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ (Science and Engineering Practices) ตามกรอบมาตรฐานการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์ของสหรัฐอเมริกา (National Research Council, 2012) จุดเน้นของแนวปฏิบัติเพื่อให้ นักศึกษาได้เรียนรู้ เกี่ยวกับการตั้งคำถาม/ข้อสงสัย สร้างคำอธิบาย กำหนดปัญหาหรือความต้องการ รวมถึงสร้างแนวทางแก้ปัญหาผ่าน กระบวนการสืบเสาะและการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Tongchai, 2016, pp. 48-53) ลำดับถัดมานักศึกษาเข้าร่วมค่าย บูรณาการเพิ่มเติมในแหล่งเรียนรู้ท้องถิ่นจังหวัดสุราษฎร์ธานี กิจกรรมนี้นักศึกษาจะได้ฝึกการวิเคราะห์ปัญหาของชุมชน โดยการเรียนรู้ภูมิปัญญาจากปราชญ์ชาวบ้าน ฝึกทักษะการคิดและลงมือปฏิบัติโดยอาศัยความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์มาใช้พัฒนานวัตกรรมเพื่อแก้ไขปัญหาหรือยกระดับคุณภาพชีวิตชุมชนที่ เชื่อมโยงกับอาชีพท้องถิ่นในลักษณะการทำโครงการเพิ่มเติมโดยใช้ชุมชนเป็นฐาน ให้ นักศึกษาได้เห็นกระบวนการ แก้ปัญหาหลากหลายแนวทาง ประยุกต์ใช้ความรู้สู่การปฏิบัติเพื่อสร้างสรรค์ผลงานที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริงมากขึ้น และ ตระหนักถึงความสำคัญของการเรียนรู้ทฤษฎีสู่การสร้างสรรค์นวัตกรรม และสุดท้ายเป็นการออกแบบการจัดการเรียนรู้ และฝึกปฏิบัติการสอนตามแนวทางสะเต็มศึกษา และร่วมถอดบทเรียนเพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการรู้สะเต็ม ของนักศึกษา แผนการดำเนินกิจกรรมการพัฒนาการรู้สะเต็มสรุปดังตาราง 1

ตาราง 1 แผนการดำเนินกิจกรรมโปรแกรมการพัฒนาวิชาชีพเพื่อพัฒนาการรู้สะเต็มสำหรับนักศึกษา

| สัปดาห์ | จำนวน ชั่วโมง | กิจกรรมการพัฒนาการรู้สะเต็ม | ลักษณะเฉพาะของงานด้านการปฏิบัติทาง วิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์/ กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม |
|---|---------------|---|--|
| <i>หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 การปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์</i> | | | |
| 1 | 6 | ตั้งคำถามอย่างนักวิทยาศาสตร์ ผ่านการสืบเสาะใช้โดโนเสาร์น้ำแข็ง | 1*3*8* |
| 2 | 6 | อาหารเพื่อการศึกษา...มองปัญหาอย่างนักวิศวกร | 1*3*4*6*8* |
| 3 - 4 | 9 | โมเดลแมลงอย่างง่าย | 2*3*6*7*8* |
| 5 | 6 | บรรจุภัณฑ์...มันฝรั่งแผ่นไม่แตก | 1*2*3*4*5*6*7*8* |
| 6 | 6 | การสูญพันธุ์ของสิ่งมีชีวิต | 3*4*6*7*8* |
| <i>หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 ค่ายบูรณาการสะเต็มศึกษาในแหล่งเรียนรู้ท้องถิ่น จังหวัดสุราษฎร์ธานี</i> | | | |
| 7 - 9 | 18 | โครงการ STEM โดยใช้ชุมชนเป็นฐาน | 1*2*3*4*5*6*7*8* |
| <i>หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 การนำสะเต็มเข้าสู่ชั้นเรียน</i> | | | |
| 10 - 11 | 12 | การออกแบบการจัดการเรียนรู้ การปฏิบัติการสอนแบบ สะเต็มศึกษาและถอดบทเรียน | 1*2*3*4*5*6*7*8* |

หมายเหตุ ลักษณะเฉพาะของงานด้านการปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์/กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

- 1* การตั้งคำถาม (วิทยาศาสตร์) และ การระบุปัญหา (วิศวกรรมศาสตร์) 2* การพัฒนาและใช้แบบจำลอง 3* การวางแผนและ ดำเนินการสำรวจตรวจสอบ 4* การวิเคราะห์และการแปลความหมายข้อมูล 5* การใช้คณิตศาสตร์และการคิดเชิงคำนวณ 6* การสร้าง คำอธิบาย (วิทยาศาสตร์) และการออกแบบการแก้ปัญหา (วิศวกรรมศาสตร์) 7* การได้แย้งทางวิทยาศาสตร์จากข้อมูลหลักฐาน 8* การรวบรวม การประเมิน และการสื่อสารข้อมูล

ระยะ R2 ศึกษาผลการพัฒนาการรู้สละเต็มของนักศึกษาครุวิทยาาสตร์ ในระยะนี้ผู้วิจัยต้องการศึกษาว่า นักศึกษาครุวิทยาาสตร์ที่เข้าร่วมโปรแกรมการพัฒนาวิชาชีพเพื่อพัฒนาการรู้สละเต็ม มีการพัฒนาการรู้สละเต็มอย่างไร โดยสังเกตการปฏิบัติกิจกรรมร่วมกับแบบสังเกตการรู้สละเต็ม

ระยะ D2 ปรับปรุงแก้ไข (Revised) ระยะนี้เป็นการปรับปรุงแก้ไขโปรแกรมการพัฒนาวิชาชีพ เพื่อพัฒนาการรู้สละเต็ม ตลอดจนสะท้อนประเด็นปัญหาและอุปสรรค ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยนำผลการวิจัยมานำเสนอและ แลกเปลี่ยนเรียนรู้ ร่วมวิพากษ์กับผู้ที่เกี่ยวข้องหรือมีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders) กับคณาจารย์ผู้สอนในสถาบัน การผลิตครูแห่งนี้ การสะท้อนผลการปฏิบัติเน้นอธิบายข้อค้นพบ วิพากษ์ เพื่อนำผลการศึกษาที่ค้นพบไปใช้ประโยชน์ หรือปรับปรุงแนวทางในการปฏิบัติในครั้งต่อไป ผลของการดำเนินการในขั้นนี้ทำให้ผู้วิจัยสามารถสรุปบทเรียนที่เกิดขึ้น จากการวิจัย

5. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย บันทึกหลังการจัดกิจกรรมของผู้วิจัย อนุทิน วิดีทัศน์ การสังเกตพฤติกรรมการปฏิบัติ การสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง การวิเคราะห์เอกสาร ผลงาน ชิ้นงาน รวมทั้งแบบสังเกตการรู้สละเต็มของนักศึกษาครุวิทยาาสตร์ พัฒนารู้นจากการดัดแปลงโปรโตคอลการสังเกตชั้นเรียนสละเต็มศึกษาของ Arshavsky, et al. (2012) ซึ่งเป็นแบบตรวจสอบรายการ (Checklist) ตามระดับพฤติกรรมการรู้สละเต็มที่นักศึกษา แสดงออก พร้อมระบุหลักฐาน ครอบคลุมองค์ประกอบ 6 ด้าน ได้แก่ 1) เนื้อหาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ กล่าวถึง การใช้องค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ของผู้เรียน 2) การมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ กล่าวถึงการมีส่วนร่วม เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาและสร้างความเข้าใจในการเรียนรู้ของผู้เรียน 3) กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม กล่าวถึง การสืบเสาะการใช้โครงงานเป็นฐาน หรือปัญหาเป็นฐาน รวมถึงกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่แสดงออกผ่าน การปฏิบัติ 4) การประเมินเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ กล่าวถึงการสะท้อนการเรียนรู้ของตนและเพื่อนเพื่อพัฒนาการรู้สละเต็ม 5) กรอบแนวคิดในการเรียนรู้ กล่าวถึงการอ่าน เขียน คิด ร่วมอภิปรายในชั้นเรียนเพื่อนำไปสู่การพัฒนาด้านสละเต็มของ ผู้เรียน และ 6) การใช้เทคโนโลยี กล่าวถึงการส่งเสริมการบูรณาการเทคโนโลยีในชั้นเรียน เครื่องมือวิจัยผ่านการพิจารณา และตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) และภาษาจากผู้เชี่ยวชาญซึ่งมีประสบการณ์ด้านการสอนและ วิจัยทางวิทยาศาสตร์ศึกษา 3 ท่าน

6. การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้วางแผนการจัดกิจกรรมและดำเนินการพัฒนาการรู้สละเต็มตามแผน เก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบบันทึกหลังจัดกิจกรรมของผู้วิจัย อนุทิน ใบกิจกรรม การสังเกตการปฏิบัติ และนำข้อมูลที่ ได้มาวิเคราะห์ สะท้อนผลของการจัดกิจกรรมในแต่ละแผน เพื่อนำไปใช้ในการวางแผนการจัดกิจกรรมในครั้งต่อไป

การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาผลการพัฒนาการรู้สละเต็มของนักศึกษาครุ ก่อนการพัฒนาการรู้สละเต็ม ระหว่างปฏิบัติกิจกรรมสละเต็มตามหลักสูตร ผู้วิจัยใช้การสังเกตพฤติกรรมร่วมกับแบบสังเกตการรู้สละเต็ม และขณะ นักศึกษาเข้าร่วมในโปรแกรมการพัฒนาวิชาชีพ ผู้วิจัยใช้วิธีการศึกษาและเครื่องมือที่หลากหลาย ได้แก่ การสังเกต พฤติกรรมร่วมกับแบบสังเกตการรู้สละเต็ม วิดีทัศน์ การสัมภาษณ์ อนุทิน การวิเคราะห์เอกสาร ผลงาน ชิ้นงาน ทั้งนี้ ผู้วิจัยตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลโดยทำการสังเกตติดต่อกัน (Persistent Observation) โดยใช้เวลาที่มากพอใน การสังเกตการรู้สละเต็ม

7. การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากแบบบันทึกหลังจัดกิจกรรมพิจารณาพร้อมกับข้อมูลที่ได้รับการเข้าร่วมปฏิบัติกิจกรรมในโปรแกรมการพัฒนาวิชาชีพเพื่อพัฒนาการรู้สละเต็มของนักศึกษาวิเคราะห์เนื้อหาโดยการตีความเพื่อหาข้อสรุปแบบอุปนัย (Inductive Process) สะท้อนผลของการจัดกิจกรรม แนวทางในการปรับกิจกรรมให้ได้มาซึ่งแนวทางในการพัฒนาการรู้สละเต็ม สำหรับการวิเคราะห์ผลการพัฒนาการรู้สละเต็มของนักศึกษาครูวิทยาศาสตร์ ผู้วิจัยนำข้อมูลทั้งหมดมาสร้างข้อสรุปจากข้อมูลย่อยด้วยวิธีการอุปนัย เพื่อหาความเหมือนหรือลักษณะร่วมบางอย่างของข้อมูล แล้วนำลักษณะร่วมนั้นมาสร้างเป็นเกณฑ์หรือกลุ่ม พร้อมทั้งให้รหัส (Coding) (Grbich, 2007) การรู้สละเต็มของนักศึกษาที่ปรากฏได้นำมาจัดกลุ่มเป็น 5 ระดับ คือ ระดับ 3, 2, 1, 0 และไม่แน่ใจ ตามความถี่ของพฤติกรรมสละเต็มที่แสดงออก ระดับ 3 หมายถึง ปรากฏการรู้สละเต็มในระดับมาก 70% ขึ้นไป ระดับ 2 หมายถึง ปรากฏการรู้สละเต็มในระดับปานกลางโดยรวม 50% ระดับ 1 หมายถึง ปรากฏการรู้สละเต็มน้อยโดยรวมต่ำกว่า 40% ระดับ 0 หมายถึง ไม่ปรากฏการรู้สละเต็ม และไม่แน่ใจ หมายถึง ไม่สามารถประเมินได้ เมื่อเสร็จสิ้นการวิเคราะห์ ผู้วิจัยสร้างความน่าเชื่อถือของข้อมูล โดยวิเคราะห์ข้อมูลแบบ สามเส้า (Triangulation) นำพฤติกรรมการรู้สละเต็มแต่ละกลุ่มที่จัดจำแนกแล้วมาเปรียบและสร้างข้อสรุป และนำผลการวิเคราะห์ให้กลุ่มที่ศึกษาและเพื่อนผู้วิพากษ์ (Critical Friends) ตีความอีกครั้ง

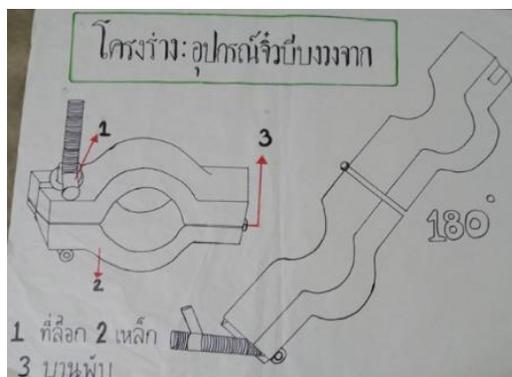
ผลการวิจัย

ก่อนพัฒนาการรู้สละเต็ม พบว่า นักศึกษาครูมีการรู้สละเต็มมอัครวมระดับ 2 คือ ระดับปานกลาง ทั้งนี้ ยังคงมีการรู้เนื้อหาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่คลาดเคลื่อน ปรากฏพฤติกรรมการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อนำไปสู่การพัฒนานวัตกรรมได้ไม่ดีเท่าที่ควร และขาดการระบุหลักฐานเชิงประจักษ์เกี่ยวกับการใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ข้อค้นพบนี้ถูกนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับกำหนดแนวทางพัฒนานักศึกษาครูให้มีการรู้สละเต็มเพิ่มขึ้น ในระหว่างเข้าร่วมโปรแกรมการพัฒนาวิชาชีพ พบว่า นักศึกษาครูมีการรู้สละเต็มมอัครวมเพิ่มขึ้นเป็นระดับ 3 คือ ระดับมาก ทั้งนี้ผู้วิจัยนำเสนอแนวทางการพัฒนาการรู้สละเต็มและผลการพัฒนา ดังนี้

1. เน้นบริบทจริงบนฐานความรู้คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์เพื่อแก้ปัญหา ผู้วิจัยพัฒนาการรู้สละเต็มของนักศึกษาโดยใช้สถานการณ์จริง นำนักศึกษาสำรวจชุมชนตามฐานการเรียนรู้ 7 ฐาน ได้แก่ 1) ฐานการต่อเรือประมง 2) ฐานการทำน้ำส้มจาก 3) ฐานการทำคั้นเบ็ดตกกุ้ง 4) ฐานการทำน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์สกัดเย็น 5) ฐานการทำน้ำตาลมะพร้าว 6) ฐานการทำไข่เค็มไชยา 7) ฐานการทำฟาร์มหอยแครง ทั้งหมดได้เรียนรู้อาชีพ ภูมิปัญญา ศึกษาความต้องการหรือปัญหาชุมชนโดยใช้พื้นฐานความรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาที่เชื่อมโยงกับอาชีพ ผลการศึกษาพบว่า นักศึกษามีส่วนร่วมในการแก้ปัญหาหรือตั้งคำถาม พยายามทำความเข้าใจเกี่ยวกับปัญหาหรือสถานการณ์ และหาวิธีการแก้ปัญหาซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งที่อยู่ในกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมได้ โดยมีพฤติกรรมแสดงออกระดับ 3 คือ ระดับมาก ดังเช่นนักศึกษาได้ร่วมกันวิเคราะห์และสะท้อนปัญหาให้เห็นว่า การทำน้ำตาลมะพร้าวขั้นตอนการหยอดน้ำตาล ชาวบ้านต้องใช้ช้อนตักและกดเพื่อให้ได้น้ำตาลปึกที่เป็นก้อนซึ่งใช้เวลาที่นาน จึงหาวิธีการสร้างอุปกรณ์หยอดน้ำตาลมะพร้าวเพื่อช่วยลดระยะเวลาในการหยอดน้ำตาล (โครงการสละเต็มศึกษา F33, F37, F38, F47, F61) ทั้งนี้ นักศึกษาสามารถกำหนดวิธีการแก้ปัญหาที่ใช้ในการทำงานให้เสร็จสมบูรณ์ได้ เช่น การวิเคราะห์ปัญหา การพิจารณา

ทางเลือกที่เป็นไปได้ การประเมินและเลือกวิธีการแก้ปัญหา รวมถึงการเสนอวิธีการแก้ปัญหาเพื่อการปฏิบัติ ดังตัวอย่าง การสะท้อนคิดของนักศึกษา “มีส่วนร่วมกับสมาชิกในกลุ่มตั้งแต่การลงพื้นที่ศึกษาปัญหาจากการทำน้ำตาลมะพร้าว จากนั้นจึงนำปัญหาที่ได้จากการลงพื้นที่มาร่วมกันพิจารณาว่าควรจะเลือกปัญหาใดมาแก้ไขหรือสร้างนวัตกรรม จนถึงกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมและสร้างนวัตกรรมจนสำเร็จ” (F61) อีกทั้ง นักศึกษาสามารถนำความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์มาใช้เพื่อแก้ปัญหาได้ถูกต้องเช่น ใช้ความรู้เรื่องคานอันดับ 1 ผนวกความรู้คณิตศาสตร์ เรื่องรูปเรขาคณิตในการออกแบบนวัตกรรม ดังตัวอย่างการนำเสนอ “ได้มีการนำความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับ คานและพลังงานศักย์ยืดหยุ่นมาออกแบบอุปกรณ์หยอดน้ำตาลมะพร้าว ซึ่งความรู้ข้างต้นเป็นหลักการที่สำคัญในการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าว โดยคานอันดับ 1 เป็นคานที่มีแรงความต้านทานอยู่ระหว่างแรงความพยายามและ จุดหมุน ส่งต่อแรงกดถึงสปริงอาศัยหลักการของพลังงานศักย์ยืดหยุ่นในสปริงในการหยอดน้ำตาลมะพร้าวและใช้ความรู้คณิตศาสตร์เกี่ยวกับการวัดและเรขาคณิตมาใช้ในการออกแบบกระบอกหยอดน้ำตาลมะพร้าวที่มีรูปทรงกระบอกสูง 26 ซม. และเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.2 ซม.” (F37)

2. ใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ผู้วิจัยจัดกิจกรรมโดยผนวกการออกแบบเชิงวิศวกรรมเข้ากับการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี กล่าวคือขณะนักศึกษาทำกิจกรรมเพื่อพัฒนาความรู้ ความเข้าใจ และฝึกทักษะด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี นักศึกษาต้องมีโอกาสนำความรู้มาออกแบบวิธีการหรือกระบวนการเพื่อแก้ปัญหา เพื่อให้ได้เทคโนโลยีซึ่งเป็นผลผลิตจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ผลการวิจัย พบว่า นักศึกษาส่วนใหญ่สามารถนำความรู้มาออกแบบวิธีการหรือกระบวนการเพื่อแก้ปัญหาและระบุหลักฐานเชิงประจักษ์ว่า ตนใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (หรือกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมแบบย้อนกลับ) โดยแสดงพฤติกรรม การแสดงออกระดับ 3 คือระดับมาก ดังตัวอย่างการสะท้อนคิด “ได้ทำการศึกษาปัญหา รวบรวมข้อมูล ออกแบบ เลือก วัสดุ และทำการสร้างแบบจำลอง จากนั้นทดสอบประสิทธิภาพ และประเมินผล ทุกขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิง วิศวกรรม ทางกลุ่มได้ทำครบทุกขั้นตอน” (F8) ก่อนการพัฒนา นวัตกรรมนักศึกษาสามารถแสดงให้เห็นถึงภาพร่าง ลักษณะต้นแบบ (Prototype) แสดงกระบวนการออกแบบของการแก้ปัญหาได้ ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญทางวิศวกรรมใน การพัฒนา นวัตกรรม ดังภาพ 1



ภาพ 1 ภาพร่างนวัตกรรมอุปกรณ์รับบิงจจากเพื่อทุนแรงการตั้งวงจากด้วยมือ (โครงการงานสะเต็มศึกษา F32, F45, F50, F60, F62)

นอกจากนี้ นักศึกษาแสดงให้เห็นถึงความเพียรพยายามเมื่อแก้ปัญหาโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม โดยนักศึกษาได้เรียนรู้ถึงความล้มเหลวเพื่อเป็นขั้นตอนเชิงบวกในการค้นพบและการออกแบบเพื่อแก้ปัญหา ดังตัวอย่างการสะท้อนคิด “มีการทดสอบประสิทธิภาพของนวัตกรรมแล้วพบปัญหาจึงต้องมีการศึกษาหาสาเหตุและแก้ไข ใช้งานจนใช้งานเสร็จสมบูรณ์” (F20)

3. ใช้เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องในการแก้ปัญหา ผู้วิจัยพัฒนาการรู้สละเต็มของนักศึกษาโดยใช้กระบวนการเทคโนโลยีเพื่อแก้ปัญหาหรือสนองความต้องการโดยการออกแบบและสร้างผลิตภัณฑ์หรือวิธีการอย่างสร้างสรรค์ มีการบูรณาการกับศาสตร์อื่น โดยรวมแนวคิดของเทคโนโลยีและวิศวกรรมเพื่อบูรณาการวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ ในการแก้ปัญหาด้วยการสร้างสรรค์นวัตกรรมรวมถึงระบบหรือวิธีการ ฝึกให้นักศึกษามองเห็นถึงความเชื่อมโยงของการเรียนรู้กับชีวิตจริงและนำไปสู่สู่ทางการประกอบอาชีพในอนาคต ผลการวิจัย พบว่า นักศึกษาส่วนใหญ่แสดงพฤติกรรมการรู้สละเต็มด้านการใช้เทคโนโลยีในระดับ 2 คือ ระดับปานกลาง มีเพียงบางส่วนสามารถใช้เทคโนโลยีเพื่อสร้าง จัดกระทำ หรือเป็นตัวแทนของความคิด เช่น ใช้เว็บแอปพลิเคชันเพื่อจัดการและดูรูปทรงเรขาคณิต 3 มิติ ตัวอย่างเช่น “ใช้โปรแกรม Adobe illustrator CC ในการออกแบบขวดรับน้ำส้มจาก ได้นำความรู้ทางเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในการตัดสรร เลือกว่าสตุ ในการสร้างนวัตกรรมขวดรับน้ำส้มจากที่มีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนของกรด เพื่อลดการปนเปื้อนจากสารเคมี” (M23) ขณะที่บางส่วนใช้โปรแกรมผสมผสานเช่น Autodesk Maya, Adobe Premiere Pro CC และ Adobe After Effects CS6 เพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติในการออกแบบหรือหาวิธีการเคลื่อนย้ายเรือสู่น้ำด้วยวิธีการที่เหมาะสมเพื่อลดแรงงานคนและเพิ่มความสะดวกในชีวิตประจำวัน ดังภาพ 2



ภาพ 2 การใช้เทคโนโลยีเป็นตัวแทนของความคิดในออกแบบวิธีการเคลื่อนย้ายเรือสู่น้ำ (โครงการสะเต็มศึกษา F31, M41, F46, F49, F64)

ขณะที่นักศึกษาส่วนใหญ่แสดงออกถึงความสามารถด้านการใช้เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องในการแก้ปัญหา ระดับปานกลาง โดยใช้เทคโนโลยีเพื่อให้ได้ผลการเรียนรู้แต่ไม่ค่อยปรากฏการใช้เทคโนโลยีเพื่อฝึกทักษะเสริมสร้างความรู้ หรือขยายความรู้ให้เกิดประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ดังตัวอย่างเช่น “มีการใช้ในการคำนวณหาขนาดของการสร้างตัวคั่น เบ็ดอย่างง่าย และใช้คอมพิวเตอร์ในการค้นหาข้อมูลต่างๆ” (F57) “ยังไม่ได้นำแอปพลิเคชันมาออกแบบสร้างชิ้นงานให้เห็นถึงกลไกและแนวคิดของชิ้นงาน เนื่องจากนวัตกรรมที่คิดนั้นสามารถที่จะออกแบบด้วยการวาดได้”(F19)

4. **ปฏิบัติจริง/โครงการงานเป็นฐาน/การสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์** ผู้วิจัยพัฒนาการรู้สละเต็มของนักศึกษาโดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์แนวสืบเสาะ หาคำความรู้ ซึ่งเน้นให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติด้วยการสร้างสรรค์ชิ้นงานในลักษณะของโครงการงานเป็นฐาน การใช้ปัญหาเป็นฐานที่เน้นการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง ซึ่งทำให้ผู้เรียนเห็นความสำคัญของทฤษฎี และสามารถนำองค์ความรู้จากศาสตร์ต่างๆ มาบูรณาการเพื่อแก้ปัญหาหรือสร้างสรรค์นวัตกรรมใหม่ ผลการวิจัย พบว่า นักศึกษาส่วนใหญ่สามารถดำเนินกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ ปฏิบัติกิจกรรมแบบโครงการงาน หรือกิจกรรมแบบลงมือปฏิบัติเพื่อแก้ปัญหาในชีวิตจริงได้ โดยมีพฤติกรรมการแสดงออกสูงสุดในระดับ 3 คือระดับมาก จากการวิจัยนี้ นักศึกษาสามารถทำโครงการงานสะเต็มศึกษาด้วยตนเองทั้งสิ้น 12 โครงการงาน เพื่อช่วยแก้ปัญหาและยกระดับคุณภาพชุมชน ดังนี้ 1) นวัตกรรมเครื่องกว่นส่วนผสมไข่เค็ม 2) นวัตกรรมเครื่องเคลื่อนเรือสู่มแม่น้ำ (Mechanical Transport) 3) เครื่องหยอดน้ำตาลมะพร้าว 4) หนังสือฉบับพกพาการออกแบบคันเบ็ดตกกุ้ง 5) อุปกรณ์จิวบิงวงจาก 6) นวัตกรรมเบ็ดตกกุ้งจากภูมิปัญญาท้องถิ่นชุมชนคลองน้อย 7) นวัตกรรมแผ่นปูพื้นธรรมชาติจากเปลือกหอยแครง 8) การออกแบบวิธีการเคลื่อนย้ายเรือลงสู่มแม่น้ำ 9) อุปกรณ์หยอดน้ำตาลมะพร้าว 10) เครื่องเหวี่ยงแยกน้ำมันจากไขกะทิ 11) นวัตกรรมขวดรับน้ำส้มจาก 12) การออกแบบเครื่องชูดและคั้นมะพร้าว ดังภาพ 3



ภาพ 3 ตัวอย่างนวัตกรรมจากโครงการงานสะเต็มโดยใช้ชุมชนเป็นฐาน

นักศึกษาส่วนใหญ่ได้สะท้อนผลการเรียนรู้ไปในทิศทางเดียวกันว่า ได้ดำเนินกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ และได้ปฏิบัติกิจกรรมแบบลงมือปฏิบัติ (Hands-on) หรือกิจกรรมการแก้ปัญหาในชีวิตจริง สอดคล้องกับอนุทินดังนี้ “จากกิจกรรมมีการลงพื้นที่จริง สัมภาษณ์ปราชญ์ วิเคราะห์ปัญหาด้วยตนเอง รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการแก้ปัญหาคาดต้นจากเพื่อให้เกิดรอยข้ามกันได้ น้ำส้มจาก ออกแบบอุปกรณ์บิงวงจากเพื่อลดระยะเวลาการตีจากวางแผนด้านอุปกรณ์ในการสร้างอุปกรณ์จิวบิงวงจาก ทดสอบประสิทธิภาพ และนำเสนอหน้าชั้นเรียน ซึ่งทุกกระบวนการล้วนเป็นกิจกรรมที่ได้ลงมือปฏิบัติจริงด้วยตนเอง ทำให้หนูเข้าใจกระบวนการของสะเต็มมากขึ้น” (F50)

5. เน้นการทำงานเป็นทีมเพื่อแก้ปัญหา การสร้างทีมมีความสำคัญต่อการสร้างนวัตกรรม เนื่องจากจะต้องอาศัยความคิดสร้างสรรค์แล้ว การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ของสมาชิกในทีมสำคัญมาก ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ในด้านความรู้ แนวคิด เทคนิค วิธีการที่ตนค้นพบเพื่อหาหนทางหรือแนวทางใหม่ที่จะร่วมกันสร้างนวัตกรรม ในการพัฒนาการรู้สละเต็มผู้วิจัยได้ให้นักศึกษาร่วมทำงานเป็นทีม 5-6 คน เข้าไปเรียนรู้ภูมิปัญญาจากปราชญ์ชาวบ้าน เพื่อฝึกทักษะคิดและปฏิบัติโดยอาศัยความรู้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์มาสร้างนวัตกรรมเพื่อแก้ปัญหาชุมชนผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ผลการวิจัย พบว่า นักศึกษาส่วนใหญ่มีพฤติกรรมการแสดงออกสูงสุดในระดับ 3 คือ ระดับมาก ทำงานเป็นทีมได้ ดังตัวอย่างการสัมภาษณ์ “ในการแก้ปัญหาของทีมเป็นการศึกษาวิธีการแก้ปัญหาโดยการลงพื้นที่หลาย ๆ ครั้ง นำกระบวนการสะเต็มมาวิเคราะห์ปัญหา โดยการสร้างหนังสือฉบับพกพาการออกแบบค้นเบ็ดตกุ้ง และแบบจำลองค้นเบ็ดตกุ้งเพื่อแก้ปัญหา สอดคล้องกับความต้องการของชุมชน ทุกคนร่วมมือกัน ทำให้ทำงานสำเร็จ” (F58) “ทางกลุ่มได้วางแผนการทำงานร่วมกันเป็นระบบ มีการวิเคราะห์ปัญหา วิธีการที่จะนำไปสู่การแก้ปัญหา วิธีการดำเนินงานในการออกแบบและสร้างชิ้นงาน แบ่งหน้าที่รับผิดชอบ” (F13) นอกจากนี้ การทำงานเป็นทีมทำให้นักศึกษามีส่วนร่วมในการอภิปรายกับบุคคลอื่นๆ ดังตัวอย่าง “ในการทำโครงการนี้ได้ฝึกทักษะการสื่อสารทำให้สามารถอภิปรายผลต่างๆ ร่วมกับผู้อื่นได้อย่างเข้าใจ และสามารถสื่อสารให้ผู้อื่นเข้าใจได้” (F29)

6. การสะท้อนคิดเชื่อมโยงความรู้ความเข้าใจทั้งสี่ศาสตร์ ในการพัฒนาการรู้สละเต็มผู้วิจัยได้ให้นักศึกษาสะท้อนผลการปฏิบัติโดยการนำเสนอความก้าวหน้าของการเรียนรู้เป็นระยะๆ ในชั้นเรียน รวมถึงอนุทิน พบว่า นักศึกษามีการสะท้อนผลการปฏิบัติที่สอดคล้องกับเนื้อหาทั้ง 4 วิชา โดยมีพฤติกรรมการแสดงออกในระดับ 2 คือ ระดับปานกลาง โดยนักศึกษากลุ่มส่วนใหญ่สามารถใช้ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ได้ถูกต้อง ตัวอย่างเช่น “ใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์เรื่องแรงหนีศูนย์กลางโดยอาศัยหลักการความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของสสารเพื่อเหวี่ยงน้ำมันออกจากน้ำและตะกอนไขกะทิ และใช้ความรู้ด้านคณิตศาสตร์เรื่องรูปทรงเรขาคณิตและการคำนวณสัดส่วนในการออกแบบ” (F35) สามารถใช้ศัพท์วิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่น “จุดพิลลักรัม (Fulcrum) ใช้สื่อถึงจุดหมุนของคาน รวมถึงคำศัพท์ทางคณิตศาสตร์ ตัวอย่างเช่น “รูปหน้าตัด ใช้สื่อถึงรูปทรงที่เกิดจากระนาบตัดรูปเรขาคณิตสามมิติ โดยรูปที่ได้จากการตัดจะเป็นรูปเรขาคณิตชนิดใด ขึ้นอยู่กับแนวการตัดและชนิดของรูปเรขาคณิตสามมิตินั้น” (F37) แต่ยังไม่สามารถอธิบายแนวคิดที่สำคัญด้านวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ในเชิงลึก ดังตัวอย่าง “ไม่สามารถอธิบายเนื้อหาเชิงลึก ได้เฉพาะความรู้เบื้องต้นของหลักการทำงานของคานอันดับที่ 1 และรูปทรงเรขาคณิตและอัตราส่วนที่นำมาสร้างนวัตกรรม” (F33)

สำหรับการใช้ความรู้ทางเทคโนโลยี นักศึกษาบางกลุ่มสามารถใช้เทคโนโลยีเพื่อจัดกระทำหรือเป็นตัวแทนของความคิด เช่น การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบภาพร่าง ขณะที่ส่วนใหญ่ใช้เทคโนโลยีแต่อาจยังไม่ก่อให้เกิดประโยชน์เท่าที่ควร เช่น ใช้คอมพิวเตอร์ในการสืบค้นและนำเสนอข้อมูลเท่านั้น ตรงกันข้ามนักศึกษามีความโดดเด่นด้านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมโดยสามารถใช้การออกแบบเชิงวิศวกรรมทั้ง 6 ขั้นตอนในการแก้ไขปัญหาได้ดี เช่น “ได้กำหนดแนวทางการแก้ปัญหาดังนี้ วิเคราะห์ปัญหาจากขั้นตอนการทำงานน้ำตาลมะพร้าว รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง ออกแบบและวาดภาพร่างอุปกรณ์หยอดน้ำตาลมะพร้าว ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างอุปกรณ์หยอดน้ำตาลมะพร้าว ปรึกษาผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม สร้างและทดสอบประสิทธิภาพนวัตกรรม

และปรับปรุงแก้ไข ทำการทดสอบซ้ำ จัดทำรายงาน และนำเสนอผลงาน” (อนุทิน F37) นอกจากนี้ นักศึกษาสามารถสะท้อนให้เห็นถึงการปรับปรุงแก้ไขนวัตกรรมให้ได้ประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น ดังตัวอย่าง “ได้วิเคราะห์ปัญหาขาดรับน้ำส้มจากที่ไม่ทนกรด อาจทำให้ขวดถูกกัดกร่อนได้ กลุ่มเราจึงได้พัฒนานวัตกรรมขึ้นมาใหม่โดยทำการศึกษาประเภทพลาสติกทนกรดเพื่อใช้แทนขวดแบบเดิม และได้ศึกษาวิธีแก้ปัญหาเพิ่มขึ้น เพื่อใช้ในการสร้างและออกแบบนวัตกรรม” (F8)

7. การออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้และฝึกปฏิบัติการสอนสะเต็มศึกษา การพัฒนาการรู้สะเต็มกิจกรรมหนึ่งของผู้วิจัยออกแบบ เป็นการให้นักศึกษาวิเคราะห์แผนการจัดการเรียนรู้สะเต็มเพื่อให้เห็นถึงตัวอย่างและแนวทางออกแบบการจัดการเรียนรู้ จากนั้นนักศึกษาเป็นผู้ออกแบบการจัดการเรียนรู้สะเต็มด้วยตนเองและทดลองสอน โดยผู้วิจัยเป็นผู้คอยให้คำปรึกษา (Coach and Mentor) พบว่า ภาพรพนนักศึกษาสามารถออกแบบการจัดการรู้แบบสะเต็มได้ แต่ในระยะแรกอาจพบอุปสรรคเช่น การเลือกเนื้อหาหรือหัวข้อที่นำมาสอน สอดคล้องกับการสัมภาษณ์ “เนื้อหาในหลักสูตรบางเรื่องไม่เหมาะกับสะเต็ม สำหรับการเขียนแผนสะเต็มหนูจะใช้เวลานานพอควร กว่าจะเลือกเนื้อหาและกิจกรรมที่เหมาะสม” (F9) ทั้งนี้ เนื้อหาหรือหัวข้อที่นักศึกษานำมาใช้ออกแบบการสอนส่วนใหญ่อยู่ในสาระที่ 2 วิทยาศาสตร์กายภาพ เช่น เรื่องแรงแม่เหล็ก การเคลื่อนที่ของแสงและการมองเห็น เป็นต้น มีกิจกรรมสร้างองค์ความรู้ที่เกี่ยวกับการแก้ปัญหาเพื่อให้ผู้เรียนสามารถนำไปใช้ในการแก้ปัญหาตามสถานการณ์ที่กำหนด โดยการกำหนดชิ้นงานหรืออุปกรณ์ หรือสิ่งประดิษฐ์ ส่งเสริมให้ผู้เรียนเรียนรู้ผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมแต่ประสบปัญหาในขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา โดยมีกมอบหมายให้ผู้เรียนสืบค้นข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหาด้วยตนเอง ซึ่งส่วนน้อยที่จะออกแบบกิจกรรมเพื่อให้ผู้เรียนได้แนวคิดหรือองค์ความรู้เพื่อนำไปใช้ในขั้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา มีการวัดและประเมินผลสอดคล้องกับจุดประสงค์ด้วยเครื่องมือและวิธีการที่เหมาะสม สำหรับการปฏิบัติการสอน ผู้วิจัยได้ให้นักศึกษาฝึกปฏิบัติการสอนแบบสะเต็มศึกษาตามแผนการเรียนรู้ที่นักศึกษาออกแบบ พบว่า นักศึกษาสามารถสอนวิทยาศาสตร์ตามแนวทางสะเต็มศึกษาได้ สอดคล้องกับการสัมภาษณ์ “หนูคิดว่าสามารถสอนสะเต็มได้ มั่นใจ 80% กระบวนการฝึกสะเต็มเริ่มจากการทำกิจกรรมสะเต็ม ซึ่งครูกำหนดสถานการณ์ให้ฝึกแก้ปัญหาและสร้างชิ้นงาน ฝึกเขียนแผนและทดลองสอน ทำให้ได้ประสบการณ์สะเต็มมากขึ้น หนูจึงมั่นใจว่าสอนสะเต็มในโรงเรียนได้ค่ะ” (F47)

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัย พบว่า โปรแกรมการพัฒนาวิชาชีพเพื่อส่งเสริมการรู้สะเต็มที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นสามารถพัฒนาการรู้สะเต็มของนักศึกษาให้สูงขึ้นได้ โดยนักศึกษาสามารถพัฒนาการรู้สะเต็มมองครวมจากระดับปานกลางไปสู่ระดับมาก สอดคล้องกับการศึกษาของ Rink, et al. (2016, pp. 300-309) ที่กล่าวว่า โปรแกรมการพัฒนาวิชาชีพในการเรียนรู้สะเต็มแสดงให้เห็นถึงพัฒนาการเชิงบวก ทั้งด้านความมั่นใจ ความรู้ในเนื้อหา และการปฏิบัติในชั้นเรียนที่เกี่ยวข้องกับสาขาสะเต็ม ทั้งนี้ ลักษณะของโปรแกรมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นจะเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญซึ่งเปิดโอกาสให้ผู้เรียนเรียนรู้อย่างอิสระ ประเด็นแรกการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้ผู้วิจัยได้มุ่งเน้นสถานการณ์ที่สอดคล้องกับบริบทจริงในชุมชนของผู้เรียนซึ่งเลือกมาเป็นประเด็นของการเรียนรู้สะเต็ม การออกแบบโปรแกรมแบ่งเป็น 3 หน่วยใหญ่ ได้แก่ หน่วยที่ 1 การปฏิบัติทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม ให้ผู้เรียนได้เรียนรู้กระบวนการทำงานของนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรที่มีแนว

ปฏิบัติที่มีความสอดคล้องกัน หน่วยที่ 2 ค่ายบูรณาการสะเต็มศึกษาในแหล่งเรียนรู้ท้องถิ่น จังหวัดสุราษฎร์ธานี ผ่านการทำโครงการสะเต็มศึกษาโดยใช้ชุมชนเป็นฐาน ขั้นตอนปฏิบัติสองหน่วยแรกจะใช้คำถามเป็นตัวขับเคลื่อนเพื่อให้ผู้เรียนได้สำรวจและแก้ปัญหา ซึ่งบูรณาการทั้งทฤษฎีและการลงมือปฏิบัติ หน่วยที่ 3 การนำสะเต็มเข้าสู่ชั้นเรียน ซึ่งผู้เรียนได้ฝึกออกแบบการจัดการเรียนรู้ที่ทดลองสอนและถอดบทเรียน สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Tsai, et al. (2017, pp. 15-35) ซึ่งได้พัฒนารูปแบบการเรียนรู้สะเต็มบนพื้นฐานการบูรณาการความรู้ เลือกใช้ประเด็นสะเต็มที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริง เน้นการสร้างกิจกรรมการเรียนรู้ที่ได้สำรวจตรวจสอบ พัฒนา เลือกทางเลือก รวมถึงการนำเสนอผลการปฏิบัติ ทำให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาการเรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติเกิดการเรียนรู้อย่างมีความหมายส่งผลให้เกิดการรู้สะเต็มที่สูงขึ้น นอกจากนี้ ยังพบว่า นักศึกษาส่วนใหญ่นำความรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีมาใช้ในการบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อแก้ปัญหาและพัฒนาไปสู่นวัตกรรมได้ดี ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาเป็นการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการที่ไม่เน้นการท่องจำกฎหรือทฤษฎี แต่เป็นการเรียนรู้ผ่านการปฏิบัติงานจริงที่เน้นให้ผู้เรียนสร้างสรรค์ชิ้นงาน โดยการออกแบบและคิดหาวิธีการแก้ปัญหาตามหลักการออกแบบเชิงวิศวกรรมจากการที่ผู้เรียนได้เรียนรู้กระบวนการทำงานผ่านการสร้างสรรค์ชิ้นงาน ทำให้ผู้เรียนมีการพัฒนาการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ดีขึ้นเรื่อยๆ (Kijkuakul, 2015, pp. 201-207; Sangkharak, et al., 2017, pp. 59-71) ผู้วิจัยได้ให้นักศึกษาฝึกการวิเคราะห์ปัญหาของชุมชน โดยอาศัยความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์มาใช้พัฒนาวัตกรรมเพื่อแก้ไขปัญหาหรือยกระดับคุณภาพชีวิตชุมชนที่มีความเชื่อมโยงกับบริบทและอาชีพ ในลักษณะของการทำโครงการสะเต็มโดยใช้ชุมชนเป็นฐานเพื่อให้นักศึกษามองเห็นกระบวนการแก้ปัญหาที่เป็นไปได้หลายแนวทาง ประยุกต์ใช้ความรู้สู่การปฏิบัติ เพื่อแก้ปัญหาหรือสร้างสรรค์ผลงานที่เชื่อมโยงกับชีวิตจริงมากขึ้น จึงอาจเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ให้นักศึกษามีการรู้สะเต็มที่พัฒนาขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Zollman (2012, pp. 12-19) ที่กล่าวว่า การเรียนรู้แบบใช้ปัญหาเป็นฐานนั้นเป็นวิธีการสังเคราะห์ข้อมูลคณิตศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยี และวิทยาศาสตร์ในการคิดสร้างสรรค์ คติวิจารณ์ญาณ สร้างสรรค์นวัตกรรม และแก้ปัญหาในโลกจริง ซึ่งช่วยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้วิธีการทำงานร่วมกันและสามารถสื่อสารองค์ความรู้ได้อย่างชัดเจน

ผลการวิจัยนี้สะท้อนให้เห็นว่า นักศึกษาสามารถใช้ความรู้พื้นฐานด้านสะเต็มสู่ชั้นเรียนได้ อาทิ การออกแบบแผนการจัดการเรียนรู้บูรณาการสะเต็ม การจัดกิจกรรมสะเต็ม รวมถึงการสอนโดยบูรณาการสะเต็มศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Rinke, et al. (2016, pp. 300-309) ซึ่งพบว่า การเตรียมครูในด้านวิธีสอนสะเต็มศึกษาทำให้ครูมีความมั่นใจมากขึ้น สามารถบูรณาการเนื้อหาแบบสหวิทยาการได้มากขึ้น (Interdisciplinary) เรียนรู้เนื้อหาและทักษะจากสองวิชาขึ้นไปในลักษณะเชื่อมโยงกันเพื่อการเรียนรู้ที่ลึกซึ้ง ใช้ความคิดในการออกแบบและกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมากขึ้น สามารถจัดการเรียนรู้และบูรณาการเนื้อหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงมีความสามารถในการรู้สะเต็มที่สูงขึ้น

ข้อเสนอแนะ

ผู้ที่เกี่ยวข้องในการผลิตครู สามารถนำแนวทางการพัฒนาการรู้สะเต็มมาใช้เพื่อส่งเสริมการรู้สะเต็มได้ ทั้งนี้ อาจมุ่งเน้นสถานการณ์ที่สอดคล้องกับบริบทจริง เปิดโอกาสการปฏิบัติเป็นทีมผ่านการออกแบบเชิงวิศวกรรมและใช้

เทคโนโลยีเพื่อแก้ปัญหา ส่งเสริมให้มีการสะท้อนคิดเชื่อมโยงความรู้ความเข้าใจทั้งศาสตร์ ตลอดจนการฝึกให้นักศึกษาเขียนแผนการเรียนรู้สะสมด้วยตนเอง และฝึกปฏิบัติการสอนแบบสะสมตามแผน จะส่งผลให้เกิดการเรียนรู้สะสมเพิ่มขึ้น แม้ว่าโปรแกรมการพัฒนาวิชาชีพจะประสบผลสำเร็จ แต่นักศึกษาจำนวนหนึ่งยังมีการรู้สะสมที่ไม่เพียงพอซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการประยุกต์ใช้ สู่การจัดการศึกษาด้านสะสม ดังนั้น การวิจัยครั้งต่อไปควรใช้ยุทธวิธีการพัฒนาวิชาชีพครูที่หลากหลาย อาทิ การวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน การศึกษาทบทวน เพื่อส่งเสริมการนำความรู้สะสมไปใช้ในการสอนให้มีประสิทธิภาพสูงสุด รวมถึงการฝึกประสบการณ์ภาคสนามเช่น การฝึกงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในระยยะสั้น การสร้างแรงบันดาลใจ ชี้ให้เห็นประโยชน์ที่มีต่อผู้เรียนในอนาคตทั้งทักษะที่จำเป็นในการดำรงชีวิตและการประกอบอาชีพด้านสะสมเพื่อช่วยส่งเสริมการเรียนรู้สะสมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

References

- Arshavsky, N., Edmunds, J., Charles, K., & Rice, O. (2012). *STEM classroom observation protocol training manual*. Greensboro, NC: The SERVE Center, University of North Carolina at Greensboro.
- Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education, challenges and opportunities*. Arlington, VA: National Science Teacher Association Press.
- Chulavatnatol, M. (2012). *Science, technology, engineering and mathematics education (STEM education: The conceptual framework document* (December 29, 2012 Draft Version). [in Thai]
- English, L. D., & King, D. T. (2015). STEM learning through engineering design: Fourth-grade students' investigations in aerospace. *International Journal of STEM Education*, 2(14), 1-18.
- Evans, M. A., Schnitka, C., Jones, B. D., & Brandt, C. B. (2016). Studio STEM: A model to enhance integrative STEM literacy through engineering design. In Annetta, L. A., & Minogue, J. (Eds.), *Connecting Science and Engineering Education Practices in Meaningful Ways, Contemporary Trends and Issues in Science Education* (pp. 107-135). Switzerland: Springer International Publishing.
- Grbich, C. (2007). *Qualitative data analysis: An introduction*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Israsenaayth, V. (2017). *Fascinating story about STEM education* (2nd ed.). Bangkok: Chulalongkorn University Press. [in Thai]
- Kijkuakul, S. (2015). STEM education. *Journal of Education Naresuan University*, 17(2), 201-207. [in Thai]

- Lederman, N. G., & Lederman, J. S. (2013). Is it STEM or “S & M” that we truly love? *Journal of Science Teacher Education*, 24(8), 1237-1240.
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: National Academies Press.
- Nugent, G., Barker, B., Grandgenett, N., & Adamchuk, V. I. (2010). Impact of robotics and geospatial technology interventions on youth STEM learning and attitudes. *Journal of Research on Technology in Education*, 42(4), 391–408.
- O’Neill, T., Yamagata, L., Yamakata, J., & Togioka, S. (2012). Teaching STEM means teacher learning. *Phi Delta Kappan*, 94(1), 36-40
- Rinke, C. R., Gladstone-Brown, W., Kinlaw, C. R., & Cappiello, J. (2016). Characterizing STEM teacher education: affordances and constraints of explicit STEM preparation for elementary teachers. *School Science and Mathematics*, 116(6), 300-309.
- Sangkharak, A., Prasitpong, S., & Wichaidit, S. (2017). STEM education learning of photosynthesis to promote engineering design process of grade 11 students. *Journal of Education Prince of Songkla University*, 28(3), 59-71. [in Thai]
- Siripatharachai, P. (2013). STEM education and 21st century skills development. *Executive Journal*, 33(2), 49-56. [in Thai]
- STEM Education Thailand. (2014). *Why is STEM education?* Retrieved April 21, 2014, from <http://www.stemedthailand.org> [in Thai]
- Tongchai, A. (2016). The importance of engineering in science learning management in the 21st century. *Kasetsart Educational Review*, 31(3), 48-53. [in Thai]
- Tsai, H., Chung, C., & Lou, S. (2018). Construction and development of iSTEM learning model. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(1), 15-35.
- Zollman, A. (2012). Learning for STEM literacy: STEM literacy for learning. *School Science and Mathematics*, 112(1), 12-19.